

흙의 構成式 解説 (V)

朴 炳 基*
 鄭 鎭 燮**
 李 汶 樹***

4. 計算例

4.1 序 言

本講座는 1~4 회에 걸쳐 彈塑性모델과 彈·粘性모델에 대하여 概觀해 왔다. 本文에서는 이들중 전자에 대하여 Cam-Clay 모델 및 修正 Cam-Clay 모델 후자에 대해서는 Sekiguchi 모델 등을 Biot의 壓密方程式과 結合하여 有限要素解析하는 計算例를 보이하고자 한 것이다. 이와 같은 解析方法에는 여러가지가 있고 電算프로그램은 多樣하게 開發되어 있지만 여기서는 有限要素解析技法으로서 Christian-Boehmer의 方法을 이용하고 그 프로그램은 筆者들이 研究開發중에 있는 軟弱地盤用汎用프로그램을 사용했다. 地盤의 變形解析의 對象으로는 壓密, sand drain, 複合地盤, 模型地盤의 破壞現象 등이고 現場觀測值가 있는 경우는 이와 比較檢討한다. 이들 對象에 대해서는 이미 筆者들이 發表하였거나 研究가 進行中인것 가운데서 발췌된 것이다.

4.2 壓密解析

- * 正會員, 全南大學校 工科大學 教授
- ** 正會員, 圓光大學校 工科大學 副教授
- *** 正會員, 全南大學校 農科大學 副教授

4.2.1 序言

佛學者의 Magnan 등이 研究用으로 Qubzac-less-pont 에서 壓密研究를 위하여 試驗盛土한 地盤의 요소분할을 Fig. 4.1에 나타낸다. 연약지반의 깊이는 9m, 盛土高는 2.4m, 배수조건으로서는 地表面과 底部를 排水層으로 하고 境界條件은 底部는 固定, 兩側面은 鉛直變位만 許容한다. Magnan 등은 自身들이 彈塑理論에 의한 독자적인 model을 開發하여 Sandhu-Wilson의 有限要素技法에 의해 壓密現象과 관련된 地表面沈下, 側方變位, 間隙水壓의 拳動等에 관하여 그들의 解析과 實測值를 比較하였다. 이 결과를 筆者들의 開發 프로그램에 의해 Cam-Clay

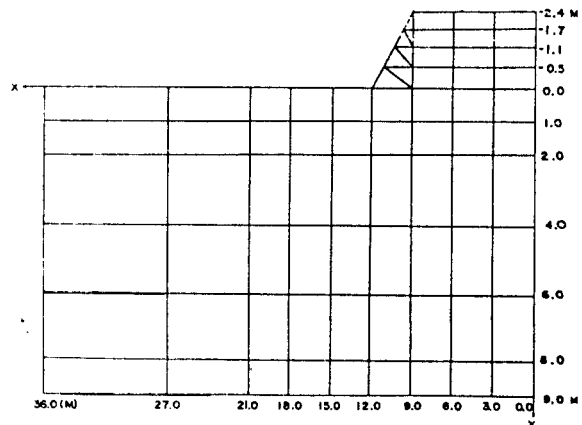


Fig. 4.1 Mesh of foundation and embankment for numerical analysis. (after Magnan, 1984)

修正 Cam-Clay model, 彈·粘塑性 model 등을 각각 사용하여 Christian-Boehmer 技法에 의한 有限要素解析을 시도하여 그 結果를 다음과 같이 比較檢討한다.

4.2.2 沈下

Fig. 4.2는 盛土荷重期間中에 排水壓密이 일어난다고 假定하여 盛土中央部の 沈下量을 나타낸 것이다. Fig. 4.1에서와 같이 盛土荷重까지도 要素化하여 各種 model을 構成式으로 選定, 使用하였다. 觀測値와 比較하면 載荷後 1,000日까지는 比較的 彈·粘塑性 모델(E·VP)이 가가

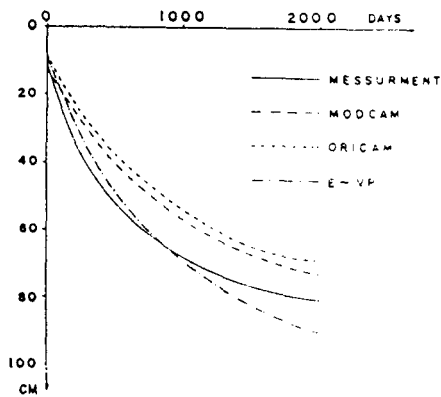


Fig. 4.2 The settlement under embankment centerline of measurement and numerical values by various models with time.

운 값을 나타내고 있으나 그 이후에는 觀測値를 초과하여 급격하게 沈下가 증가하고 있다. 이는 時間의 경과와 함께 creep 등의 效果를 考慮한 構成式의 特性때문인 것으로 생각된다.

그러므로 時間-沈下曲線의 性向으로 보아 일반적인 自然地盤에는 오히려 彈塑性 모델 (修正 Cam-Clay model)이 좋은 結果를 주고 있다고 볼수 있다.

解析에 必要한 土質常數는 이들 모델에서는 λ , $K(e \cdot \ln p$ 곡선에서의 기울기 및 除荷曲線의 기울기) 등 三軸試驗에 의한 통상의 土質常數가 必要할 뿐이다.)

4.2.3 側方變位

盛土法面下部的 側方變位를 나타낸 것이 Fig. 4.3이다. 既時變形(彈性變形)에 있어서 Cam-Clay, 修正 Cam-Clay 등이 거의 같은 값을 보이

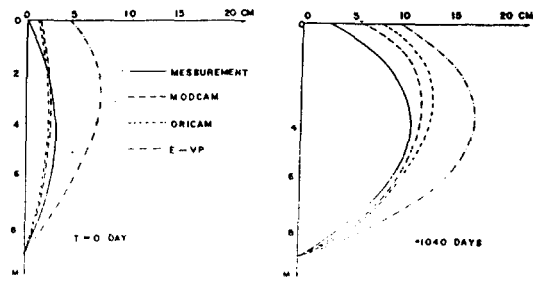


Fig. 4.3 The lateral displacement under the toe of slopes of embankment of measurement and numerical values by various models.

면서 觀測値에 近接하고 있으나 地表面의 移動이 觀測値에서 나타나지 않고 있어 注目を 끈다. 모델에서는 觀測値 및 彈塑性 model 解析에 比하여 과도한 側方變位量을 보여준다. 한편 1,040日이 경과한 후의 側方變位는 모든 結果가 비슷한 양상을 띠고 있으나 觀測値가 가장 작고 역시 彈·粘塑性 model이 가장 크다. 이는 creep의 影響등이 model에 반영되기 때문일 것이다. 따라서 側方變位에 관한 한 彈·粘塑性 model은 좋은 結果를 기대하기 어려울 것으로 생각된다.

4.2.4 間隙水壓의 挙動

中央部에서의 間隙水壓의 分布를 Fig. 4.4에 나타냈다.

載荷순간에는 觀測値 및 各種 모델에 의한 解析結果가 有意義의 差異가 없으나 1,040日이 지난 경우에는 地表面附近에서는 觀測値가 解析値보다 작게 나타나지만 地表面에서 깊어짐에 따라 觀測値나 解析値도 두가 크게 增加하는 양상을 보이고 있다.

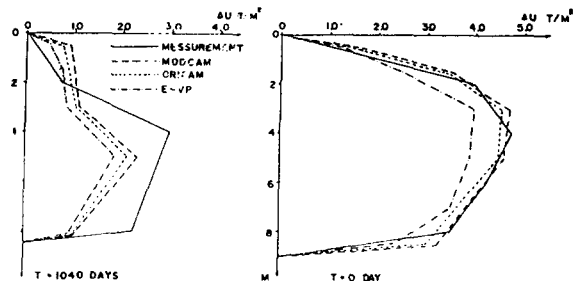


Fig. 4.4 The pore water pressure under the embankment centerline of measurement and numerical values by various models.

4.3 Sand Drain 解析

4.3.1 序言

本節에서는 sand drain 工法에 대하여 間隙水壓拳動, 應力集中現象, 鉛直方向의 沈下 및 側方變位等에 관하여 彈·粘塑性모델을 使用하여 解析 考察한다.²⁾

Sand drain 은 周知하다시피 粘土層에 砂柱를 設置하여 荷重載荷에 의하여 壓密을 促進한다. 最近까지도 Barron의 理論을 使用하여 設計하여 왔으나 이 理論은 Terzaghi系 理論의 결합과 동시에 變形條件이 不透明하다는 것이 잘 알려진 事實이다. 또 Barron의 理論에서는 砂柱에 대한 應力集中은 전혀 考慮되어 있지 않다. 本解析에서는 支配方程式으로서 Boit의 理論을 따랐으며 이 多次元壓密을 解析하는데 砂柱의 應力集中을 解明하기 위하여 砂柱에 剛性을 考慮한 경우와 考慮하지 않는 경우(後者是 單純히 排水機能만을 발휘한다고 假定)를 自然地盤의 壓密狀態와 比較하여 應力集中이 어떻게 일어나는가를 考察하였다.

이때 모래(砂柱)와 盛土材料는 非線形彈性 model로 생각하고 粘土地盤은 非等方性에 creep 効課를 함께 考慮할 수 있는 構成式으로서 彈·粘塑性 model을 擇하였다. 解析의 結果는 剛性을 考慮한 sand drain이 現實的이며 따라서 이를 考慮한 解析이나 設計도 可能하다는 것이 밝혀졌다. 다음에 解析을 위한 모형지반의 境界條件 및 數值計算結果와 考察을 略述한다.

4.3.2 模型地盤

1) 模型地盤의 解析領域은 Fig. 4.5에서와 같이 폭 122m, 토층깊이 19m(여기서 9m는 砂層, 10m는 粘土層)이다. 要素數는 盛土도 包含하여 총 217, 節點數는 244개의 四角形 要素이다.

2) 盛土部底幅은 28m로서 載荷條件은 총 16 t/m^2 를 每段階 2 t/m^2 씩 8段階로 나누어 시공한다. 盛土總期間은 48日이다.

3) 排水條件은 바닥과 兩側面은 非排水, 地表面에서만 排水이고 境界面의 拘束으로서는 바

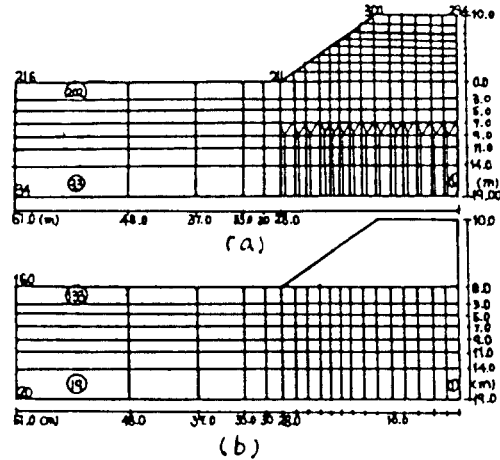


Fig. 4.5 FEM Grid.

닥은 固定, 地表面은 自由, 兩側面은 鉛直變位만 許用하는 條件이다.

4) 基礎地盤은 7層의 多層土로서 本解析에 利用되는 土質常數는 4.2項의 彈粘塑性 model에서와 같이 λ , K 等 16種이다.

5) Sand drain의 設置는 粘土層에 2m 간격으로 設置하고 直徑 0.55m의 砂柱를 2次元平面으로 환산하여 每 2m마다 0.24m의 폭을 갖도록 한다(Fig. 4.5 參照) 數值解析時에는 sand drain의 剛性을 考慮한 경우(略하여 S.D.), 剛性을 考慮하지 않는 경우(paper drain: P.D.), 그리고 地盤을 改良하지 않는 경우(원지반 상태; Intact state: I.S.)의 3가지가 比較된다.

4.3.3 間隙水壓

自然狀態에서의 粘土層의 過剩間隙水壓의 拳動을 Fig. 4.6에 나타낸다. 盛土期間동안은 盛土

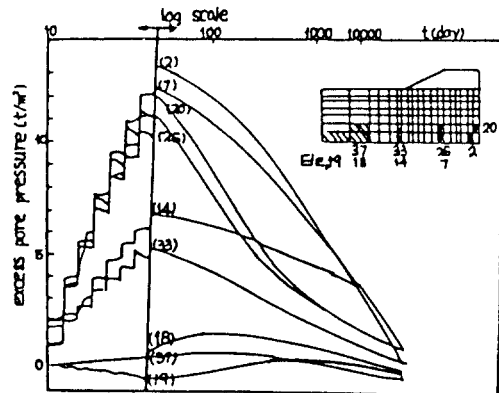


Fig. 4.6 Time-Excess P.W.P relation.

中心部에 가까울수록 盛土荷重의 영향을 받아 間隙水壓이 크게 發生하고 멀어질수록 작게 나타나는 傾向을 보이고 있다. 또한 盛土完了後 盛土中心部에서는 時間의 增加와 더불어 減小 傾向은 급격해지고 있으나 盛土部에서 멀어질수록 완만하고 오히려 盛土外部에서 負(-)의 Mandel-Cryer 効果와 비슷한 現象이 나타나고 있다. 그러나 어느 경우나 一定한 時間後에는 壓密이 종료되고 收斂하는 現象을 보이고 있다. 또 Fig. 4.7은 盛土部中心에서 各各 3, 13, 27, 42.5m 떨어진 位置에서의 時間의 增加와 더불어 間隙水壓의 變化를 나타낸 것이다.

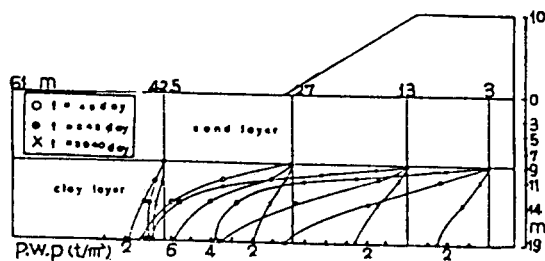


Fig. 4.7 Excess P.W.P in intact state.

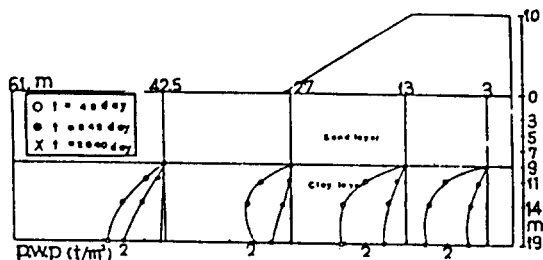


Fig. 4.8 Excess P.W.P in paper drain.

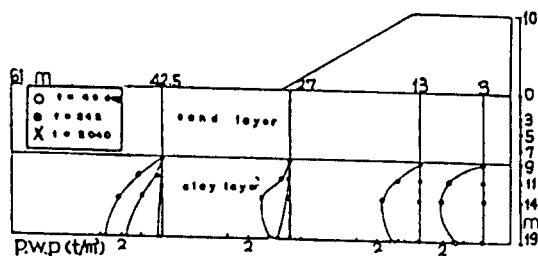
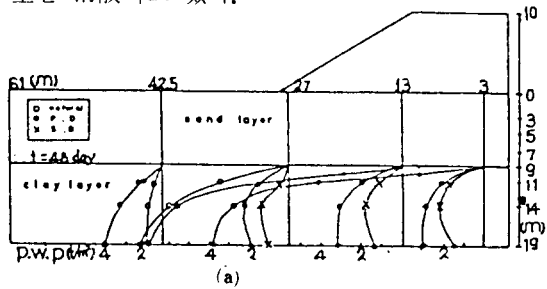


Fig. 4.9 Excess P.W.P in sand drain.

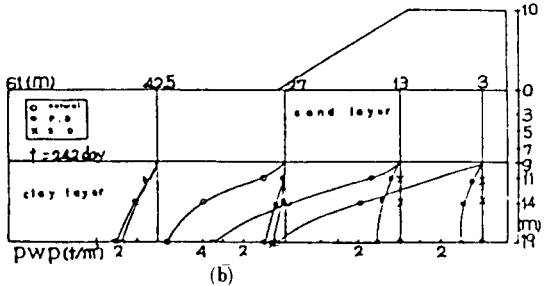
Fig. 4.7에서 盛土部地盤의 中心에 가까울수록 盛土 직후 間隙水壓이 크게 발생하고 있으며 基礎地盤의 中心部에서 멀어질수록 減少하고 특히 盛土部外側에서는 $t=242$ 日이 경과할때 間隙水壓이 最大로 增加하고 있는데 이는 Fig. 4.6과 같은 現象이다.

또 Fig. 4.8에서는 盛土部上端 粘土地盤에 剛性이 없다고 假定한 paper drain(P.D.)을 設置했을 때의 時間經過에 따르는 過剩 間隙水壓의 拳動을 보여주고 있다. Fig. 4.7과 거의 같은 양상을 나타내고 있으나 $t=242$ 日에서 壓密이 終了되어 間隙水壓이 거의 消散되었음을 나타낸다.

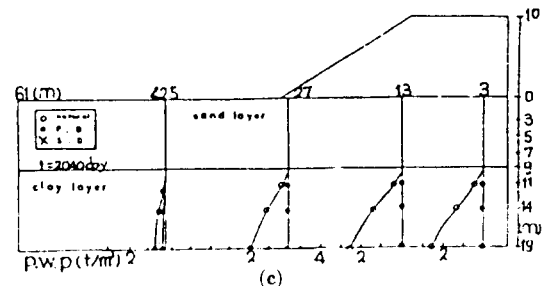
한편 Fig. 4.9에서는 sand drain을 設置했을 때의 間隙水壓의 拳動을 보여주고 있는데 Fig. 4.8과 비슷한 양상이다. 즉 sand drain의 경우도 paper drain과 같이 242日이 경과하면 間隙水壓은 消散되고 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4.10 Excess P.W.P behavior in clay layer.

다시 Fig. 4.10은 $t=48, 242, 2040$ 日 일때의 I.S., S.D., P.D. 의 3 경우를 比較하기 위해서 Fig. 4. 7, 8, 9를 다시 정리한 것으로 어느 경우나 S.D. 혹은 P.D.는 間隙水壓의 消散이 빨리 나타나고 있으나 I.S.에서는 $t=2040$ 日이 經過하여도 壓密이 進行되지 않고 어느 要素는 $2.5t/m^2$ 의 間隙水壓이 잔유하고 있음을 알 수 있다.

그리고 어느 경우나 $t=48$ 日(盛土直後)에서 가장 큰 間隙水壓을 보여주고 있다. 그러나 時間이 지남에 따라 減少하는 傾向이고 $t=242$ 日 일때 P.D.의 경우 間隙水壓이 $1 t/m^2$ 이고 S.D.에서는 間隙水壓이 消散되어 0이다.

以上으로 보아 S.D.의 경우 빠른 時間에 큰 壓密度에 倒達하게 된다.

4.3.4 應力集中

Sand drain 工法은 粘土地盤中の 砂柱가 절단되지 않는 즉, 地盤全體로서는 一種의 複合地盤이라고 생각할 수 있다. 또한 砂柱의 剛性은 粘土地盤의 剛性에 비하여 매우 크기 때문에 盛土로 인하여 發生하는 應力의 一部分 또는 大部分을 砂柱에 의하여 분담되고 있다고도 볼 수 있다. 그러나 從來의 解析으로써는 이와같은 應力集中의 說明은 어렵다.

이점은 最近施工되고 있는 sand compaction pile에서도 同一하다. 그러나 有限要素 解析을 하게 되면 이와같이 問題點을 解決할 수 있다.

Fig. 4.11(a) 및 (b)와 Fig. 4.12(a) 및 (b)는 盛土 또는 壓密이 進行되는 동안 어느 要素 즉, S.D.에서의 要素 37, 61(剛性을 갖는 경우), P.D.에서의 要素 21, 33, (剛性을 갖지 않는 경우) 그리고 이웃하는 粘土部(S.D.에서의 要素 36, 60에 대한 鉛直應力 σ_v 와 水平應力 σ_h 를 나타낸 것이다.

盛土中心部에 가까운 Fig. 4.11(a)의 경우는 S.D. 37과 S.D. 36의 應力擔率이 大略 6 : 4 정도이다. P.D.의 경우는 S.D. 36보다 약간 크다. 이와같은 傾向은 盛土 끝部分의 S.D. 61이나 P.D. 33에서도 같다. 그러나 Fig. 4.12의 水平應力은 3 者의 差異가 크지 않다. 따라서 壓密解析에서 剛性을 考慮하여 設計할 경우는 상당한 支持力을 발휘한다고 볼 수 있고 따라서 壓密沈下나 側方變位에 상당한 억제효과가 있다고

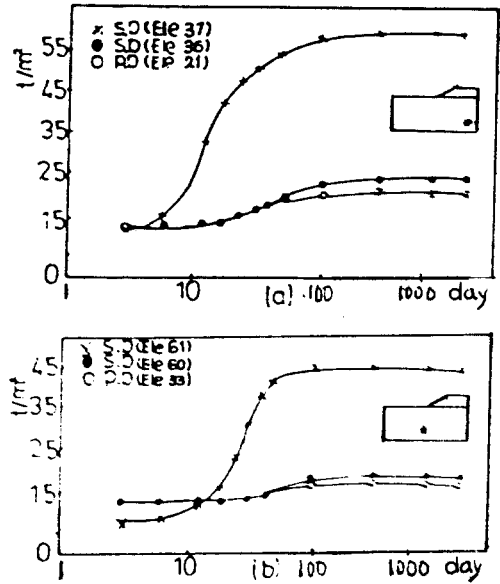


Fig. 4.11 Vertical stress

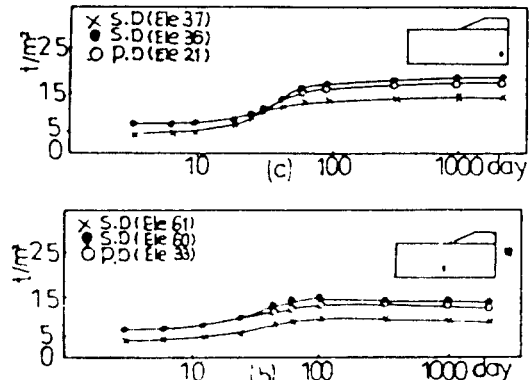


Fig. 4.12 Horizontal stress.

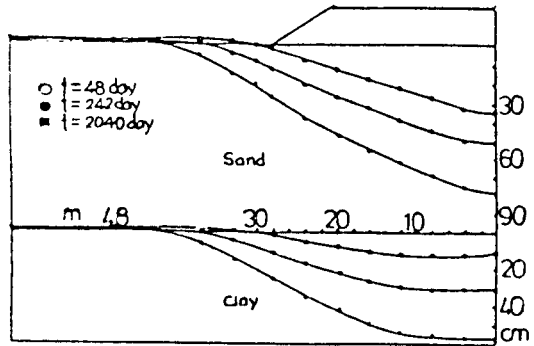
볼 수 있다. 그것은 水平應力이 剛性을 考慮한 S.D. 60, 61이 낮은 값을 나타낸 것으로도 알 수 있다. 이는 砂柱에 鉛直方向의 應力集中이 일어나면 壓密過程中 粘土要素의 間隙水가 流出되어 體積減少가 일어나므로 작게 발생한다고 생각한다.

여기서 한가지 注目할 점은 Fig. 4.11 및 4.12에서와 같이 盛土期間中에 應力集中은 거의 完了된다는 사실이다. 그以後 壓密이 進行되는 동안은 一定狀態에 이르고 있는데 σ_v 의 增加量에 비해 σ_h 의 增加量은 작게 나타나고 있다. 따라서 盛土期間中 軸差應力의 差異로 砂柱의 降伏이 豫想되고 이以後에는 塑性狀態에 들어간다고 判斷된다. 이 후의 塑性狀態에 대

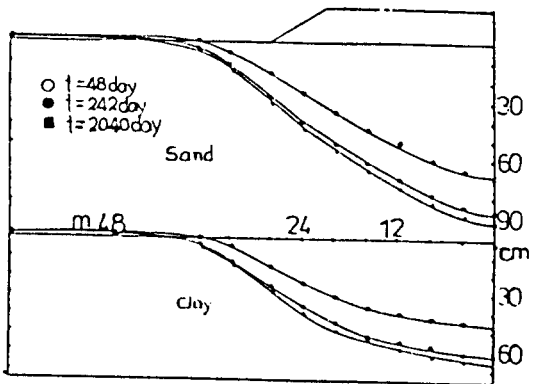
한 正確한 計算過程은 別途로 研究해볼 가치가 있다.

4.3.5 沈下

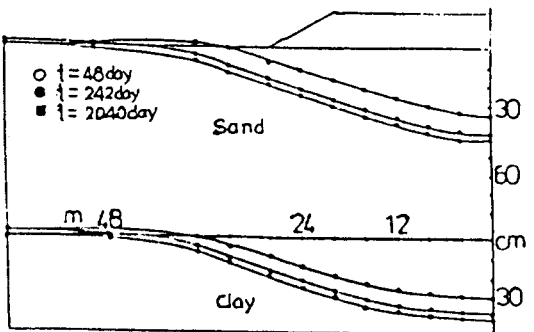
Fig. 4.13(a), (b) 및 (c)에는 I.S. 와 P.D. 및 S.D.에서의 地表面과 粘土層上部에서의 時間徑



(a) Settlement in intact state.



(b) Settlement in paper drain



(c) Settlement in sand drain.

Fig. 4.13 Settlements with elapsed time

過에 따른 沈下現象을 各各 나타내고 있다. I.S. 인 경우 Fig. 4.13(a)는 時間과 더불어 斷結의 인 壓密沈下가 일어나고 있으나 P.D. 나 S.D.에서는 壓密이 거의 完了되고 있다. 그런데 沈下量은 S.D.가 P.D.보다 훨씬 작는데 이는 S.D.인 경우 drain 材의 剛性效果가 있어서 盛土荷重을 砂柱가 大部分 받고 있어 沈下가 크게 억제되고 있는 것으로 判斷된다.

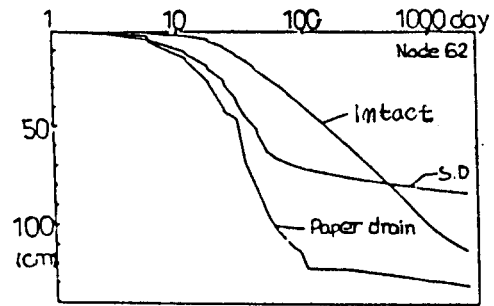


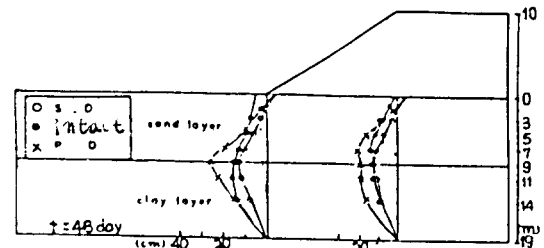
Fig. 4.14 Time-Settlement relation

Fig. 4.14는 節點62에서 3 경우의 時間에 따른 沈下現象을 나타내고 있는데 위의 事項을 잘 立證하여 준다고 하겠다.

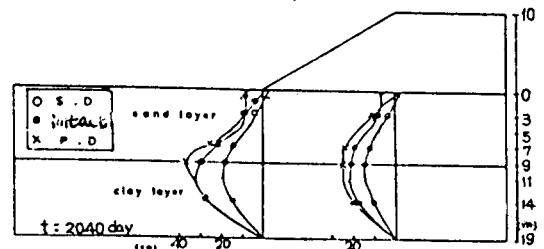
4.3.6 側方變位

Fig. 4.15는 I.S., P.D. 및 S.D. 인 경우를 $t = 48$ 日(載荷完了 直後, 2040日을 基準으로 하여 側方變位를 나타낸 것이다.

어느 경우나 I.S. 가 P.D.나 S.D. 보다 地表面



(a)



(b)

Fig. 4.15 Lateral displacement.

에서의 변위가 크게 나타나고 있고 P.D. 나 S.D. 인 경우는 地表面의 변위가 負(-)의 변위(堤體內側으로 向한 변위)를 일으키고 있어 注目된다. 또한 剛性を 考慮한 S.D. 는 側方變位の 억제 효과가 크다.

4.4 複合基礎地盤의 解析

4.4.1 序言

軟弱地盤에 堤防과 같은 盛土를 할 경우 盛土法面下端의 接觸地盤에서의 과도한 側方變位나 盛土中央部の 沈下를 抑制할 目的으로 化學的 또는 物理的 處理를 하여 部分的으로 地盤의 剛性を 높히거나 sheet pile 을 타설하는 경우가 想定될 수 있다. 이와 같은 경우에 인접하는 異質材料사이 에 假想的 接合要素(Joint Element 또는 Interface Element)를 考慮하면 實際와 近似한 解析結果를 얻을 수 있다³⁾

本節에서는 接合要素를 導入한 解析과 通常의 解析結果를 比較한다. 아직은 實測値가 없어서 本解析値가 어느 정도의 正確性을 지니고 있는가는 당장 알 수 없지만 이와같은 解析이 可能하다는 點에서 論議해 본다.

4.4.2 模型地盤條件

1) 盛土基礎地盤의 要素分割은 Fig. 4.16과 같으며 地盤길이 12m, 基礎中 72m로 對稱의 長方形이다. (a)는 自然狀態의 地盤이며 (b)는 盛土法面 下端 끝부분에 sheet pile 을 타설한 地盤이고 (c)는 盛土法面 끝부분에서 內側으로 4 m 巾으로 深層部까지 혼합처리한 경우이다 (예컨데 grouting)

2) 盛土部底巾은 20m로서 盛土荷重 $q=6 t/m^2$ 를 每時間마다 0.5 t/m^2 로 1層씩 增加시킨다.

3) 排水條件은 바닥과 側面은 非排水, 地表面은 排水이며 變形條件은 底部는 固定, 兩側面은 鉛直變位만을 許容한다.

4) Sheet pile 을 타설할 경우 材料特性은 다음과 같이 假定한다.

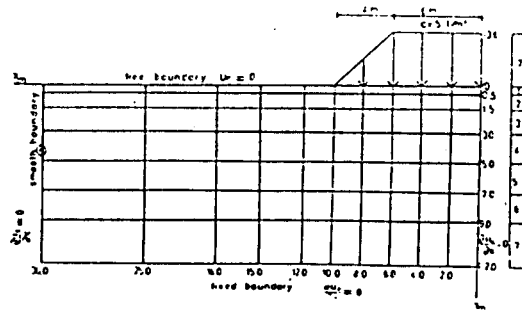
$$E=2.1 \times 10^7 (t/m^2)$$

$$I=3.1 \times 10^{-6} (m^4/m)$$

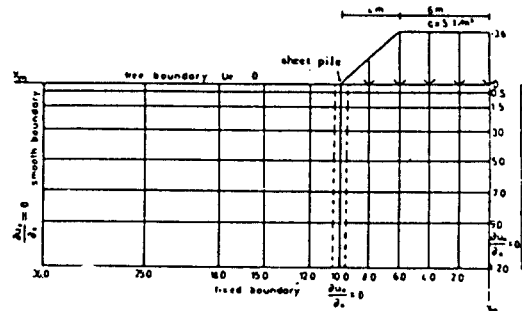
$$A=1.53 \times 10^{-2} (m^2/m^2)$$

$$\nu=0.333$$

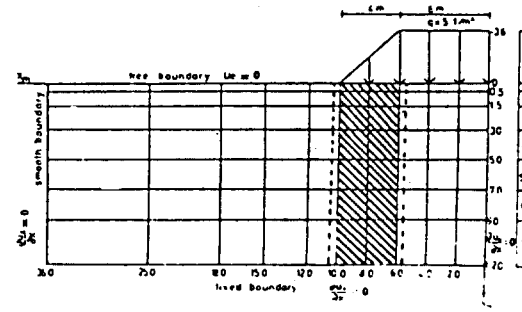
또 地盤을 深層處理할 경우 處理部의 材料特



(a) in nature state.



(b) in sheet pile.



(c) in deep mixed method.

Fig. 4.16 FEM Grid

性으로서는 다음과 같이 계산한다.

$$G=1000 kg/cm^2$$

$$E=2.6 \times 10^4 (t/m^2)$$

$$I=5.333 (m^4/m)$$

$$A=4 (m^2/m)$$

$$\nu=0.333$$

4.4.3 沈下 및 側方變位

Fig. 4.17 및 4.18에 Fig. 4.16과 같은 地盤에 있어서 剛性이 크게 다른 接合面사이 에 接合要素를 導入하여 解析한 경우와 導入하지 않은 通常의 數值解析結果를 나타냈다. 특히 接合要素를 導入한 경우에도 異質材料境界面 사이의 ϕ_a (接觸마찰각)는 材料의 狀態에 따라 다르나 本節에서는 深層混合處理의 경우 25°와 35°를, sheet pile 의 경우 ϕ_a 값을 35°로 固定하여 解析

하였다. Fig. 4.17(a)와 (b)는 $t=0$ 일인 경우 모두 限時沈下가 境界面에서 不連續이며 隆起의 경우는 接合要素를 考慮하지 않는 경우와 큰 차이가 없다.

Fig. 4.18은 $t=300$ 일이 지나서 어느 경우나 接合要素를 考慮하지 않는 경우에 비하여 沈下가 若干 크게 나타나며 境界面에서 不連續이 된다. 이는 實際의 模型地盤에서 이와같은 不連續이 存在할 것이므로 接合要素를 導入하여

沈下를 豫測하는 便이 더 實際에 가깝다고 判斷된다. 또 Fig. 4.17(a) 및 4.18(a)에는 各 變位가 ϕ/α 값이 25° 인 경우 35° 에 比하여 더 큰 값을 境界面에서 나타내고 있는데 접촉마찰각의 크기에 따라 當然히 變위가 억제되는 현상을 보이고 있다. 따라서 接合要素 해석을 하지 않은 경우 變위의 過소평가를 하고 있음을 보여주고 있어 주목된다. 이는 다시 盛土法面 끝부분에서의 側方變位를 살펴본 것이다. 解析理

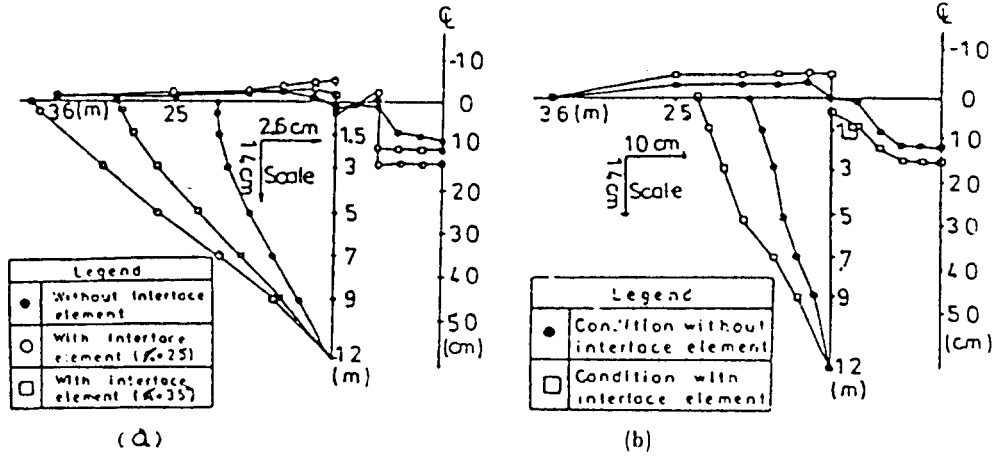


Fig. 4.17 Comparison of settlement and lateral displacement between the method with and without joint element at $t=0$
 (a) with reinforced material
 (b) with sheet pile.

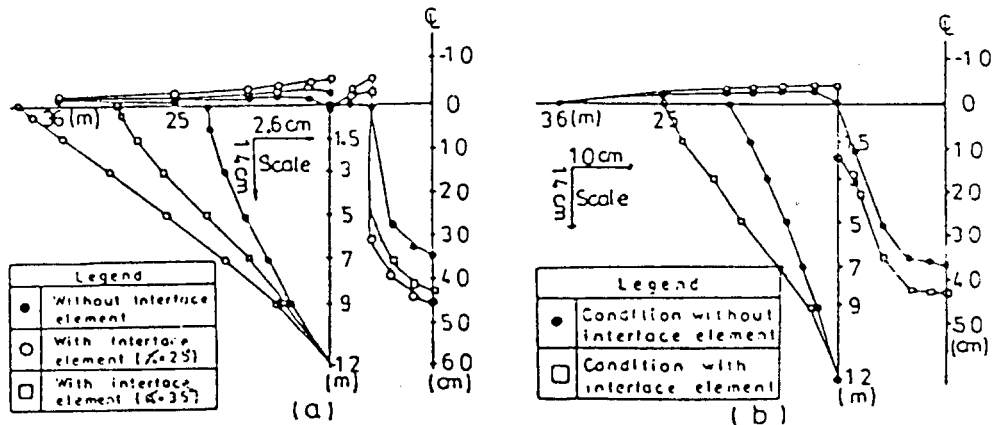


Fig. 4.18 Comparison of settlement and lateral displacement between the method with and without joint element at $t=300$ days
 (a) with reinforced material
 (b) with sheet pile.

論上 接合要素를 導入하는 것이 妥當하다고 볼 때 간과해서는 안될 問題라고 생각된다.

위의 解析에는 支配方程式으로서 역시 Biot의 壓密論과 構成式으로서는 修正 Cam-Clay 모델을 使用하였다.

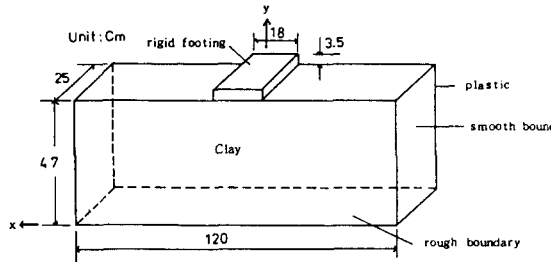
4.5 模型地盤 破壞解析

4.5.1 序言

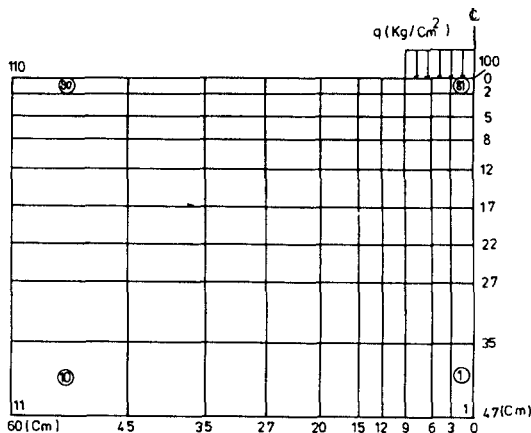
本節에서는 筆者들의 實驗室에서 大型土槽를 利用 模型地盤을 만들어서 一定變形率로 載荷試驗을 遂行하고 이때의 觀測과 解析値와를 比較分析한 것을 보인다.⁴⁾

표 2. Material parameters used in calculation

λ	k	M	C_α	G_o	ν	σ'_{vo}	K_{oc}
0.146	0.023	1.34	0.048	150	0.374	1.0	0.597
σ'_{vc}	K_o	e_o	γ_t	ν_o	λ_k	k_{xv}	k_{yo}
1.0	0.597	0.972	1.8	0.1×10^{-6}	0.146	3.75×10^{-7}	3.75×10^{-7}



(a) Test model



(b) FEM Grid

Fig. 4.19 Soil tank and FEM Grid.

4.5.2 模型土槽

1) 模型土槽內的 土質部分에 대한 解析對象은 Fig. 4.19(a)(b)와 같으며 要素分割은 地盤巾 120cm, 두께가 47cm인 模型地盤에 110節點, 90要素의 四角形要素이다.

2) 연직변위 ϵ_v (또는 ϵ_a) = 0.02mm/min의 一定變形率速度로 18×24.5cm의 面積을 갖는 두께 35mm의 載荷板에 載荷한다.

3) 排水條件은 土槽上下部가 排水條件이고 兩側面은 非排水이며 鉛直變位만을 許容한다.

4) 數值解析하는데 入力된 土質定數는 土槽 全領域에 걸쳐 同一하고 다음 表2와 같다.

5) 解析時의 支配方程式으로서 Biot의 壓密式과 彈·粘塑性model을 構成式으로 結合하여 解析한다. 따라서 本實驗과 觀測을 通하여 構成式의 精度 및 解析프로그램에 대한 精度를 確認할 수 있는 可能性을 기대하고 있다.

4.5.3 沈下

Fig. 4.20(a) 및 (b)에 荷重 $q = 0.77 \text{ kg/cm}^2$ 에서 地表面의 沈下와 地表面아래 5cm 깊이에서의 沈下關係를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 實測한 基礎아래서의 沈下 및 基礎外部에서의 隆起現象을 數值解析 結果도 만족스럽게 나타내고 있다.

沈下 및 隆起에서 creep 效果를 考慮한 彈·粘塑性model에 의한 解析値가 實測値보다 크게 나타나고 있다.

한편 Fig. 4.20(a)의 基礎表面에서의 沈下는 實測値가 全基礎巾에 걸쳐 同一하게 鉛直變位가 일어나지만 解析結果는 완만한 曲線을 이루다가 基礎中央部에서 實測値와 接近하고 그 이후는 내려가고 있다. 이와같은 事實로 부터 變位의 境界條件을 剛性基礎에서는 equal-strain을, 盛土와 같은 可撓性基礎가 築造되었을 때

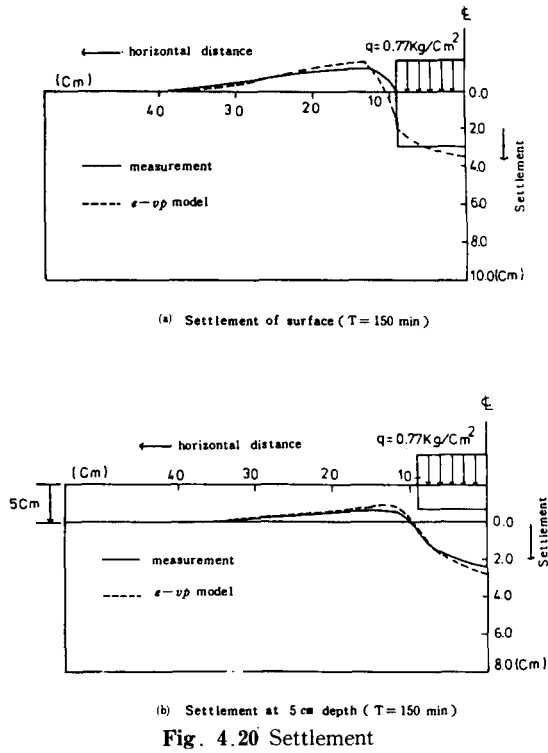


Fig. 4.20 Settlement

는 free-strain을 別個로 區分하여 解析함이 타 당함을 豫示하고 있다. 本解析에서는 free-strain을 考慮하여 解析하였기 때문에 沈下樣相에 差 異가 發生한 것으로 생각된다. 反面에 地表面 아래 5 cm 水平面에서는 沈下が 實測値와 解析 値間에 좋은 一致를 나타내고 있다.

荷重-沈下曲線을 Fig. 4.21에 나타낸다. 그림 에서와 같이 彈·粘塑性 model에 의한 解析結 果가 測定値보다 약간 크게 나타나고 있는데 이는 creep 因子를 모델이 포함하고 있기 때문 일 것이라고 생각된다.

4.5.4 側方變位

Fig. 4.22(a) 및 (b)에는 $q=0.67\text{kg/cm}^2$, 0.77kg/cm^2 일때의 側方變位를 各各 나타낸 것이 다. 時間T는 載荷後 經過時間을 뜻한다.

그림에 나타난 바와 같이 두 荷重段階에 대 한 變位양상은 좋은 對應性을 보이고 있으나 解析値가 實測値에 比하여 약간 크게 나타나고 있는데 이는 本載荷試驗이 比較的 短期間에 實 施된 結果인데 解析에 使用된 彈·粘塑性 model 은 creep 영향까지 考慮한 것이기 때문이다.

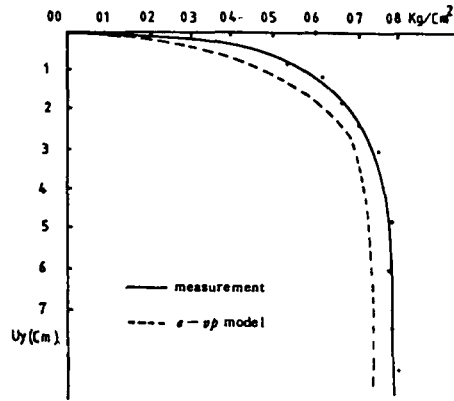
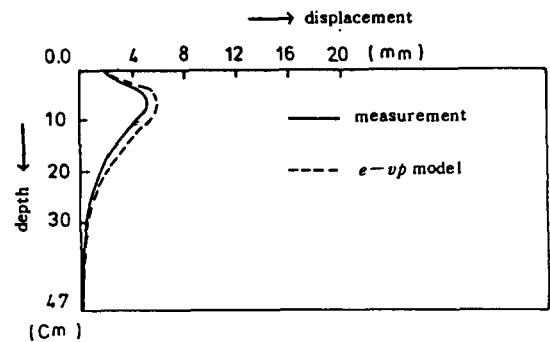
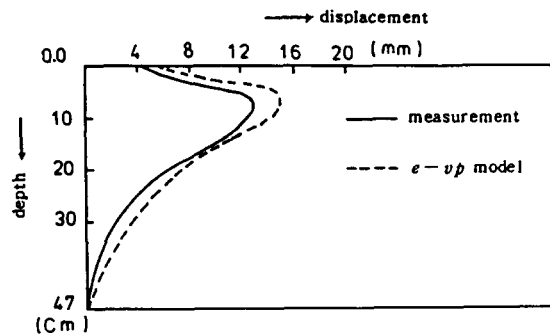


Fig. 4.21 Load-Settlement relation



at $q=0.67\text{kg/cm}^2$ (T=60 min)



at $q=0.77\text{kg/cm}^2$ (T=150 min)

Fig. 4.22 Lateral displacement

4.5.5 變位 vector

荷重 $q=0.77\text{kg/cm}^2$ 의 荷重 載荷段階에서의 模地盤內的 塑性破壞領域을 나타낸 것이 Fig. 4.23이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 基礎아래서의 crack의 方向이 아래로 向한 反面 基礎外部에서는 負(윗방향) 또는 水平方向으로

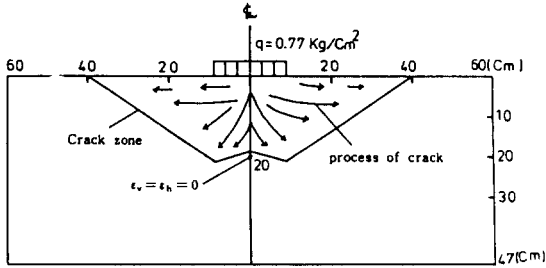


Fig. 4.23 The schematic diagram of crack zone at shear failure (T=150min)

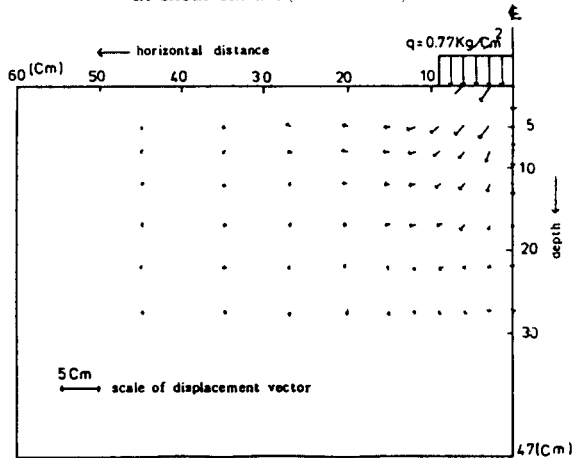


Fig. 4.24 Displacement pattern

進行되어 隆起를 일으키게 하는 原因이 되고 있다.

또한 Fig. 4.24에는 彈·粘塑性 model에 의한 變位 vector인데 Fig. 4.23의 crack의 進行方向과 比較해 볼때 方向이 一致하고 있음을 알 수 있다.

4.5.6 地中應力 및 間隙水壓

荷重載荷가 $q=0.77\text{kg/cm}^2$ 일때 載荷板 아래에서의 間隙水壓 및 鉛直應力을 土壓計와 間隙水壓計로 測定하여 나타낸 것이 Fig. 4.25이다. 鉛直應力(σ_v)는 載荷板 直下에서는 크게 發生하였으며 載荷板에서 멀어짐에 따라 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

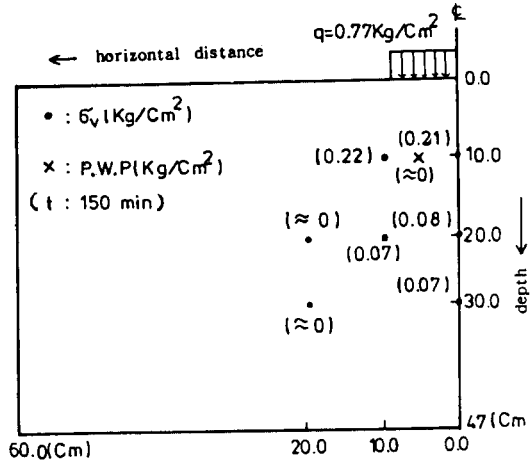


Fig. 4.25 Distribution of vertical stresses

한편 間隙水壓은 兩面排水試驗이 되므로 $t=150\text{min}$ 에서는 一次壓密이 거의 終了되었기 때문에 大部分消散되어서 測定器에 거의 感知되지 않고 있다고 생각된다.

4.6 本 講座를 마치면서

5회에 걸쳐 흙의 應力變形率關係를 說明하는 主要構成式과 그 適用例에 關하여 包括적으로 記述하여 왔읍니다만 紙面關係上, 다른 一面으로는 筆者의 能力不足으로 인하여 Lade model이나 endochrone 理論을 이 機會에 包含시키지 못한 點이 매우 아쉽습니다. 그리고 適用事例도 다른 方式이나 外國의 例를 紹介할 수 있었으면 하였읍니다만 여러가지 制約으로 이 程度로 그칩니다. 다만 Cap model의 適用例⁵⁾는 本誌 Vol. 3. No. 2. pp. 29-39를 參考하시기 바랍니다.

보다 알찬 內容을 기술하여보겠다는 처음의 도와는 달리 筆者들의 淺學菲才 때문에 所期의 目的에는 크게 미흡 하였고 또한 그 內容이 방대함을 새삼 느끼게 되었습니다. 機會가 주어지면 다시한번 努力할 것을 다짐합니다.

그동안 성원하여 주시고 문의하여 주신 독자 여러분께 깊은 감사를 올립니다.

参 考 文 献

1. Roscoe, K. H. & Schofield, A. N. "Mechanical Behavior of an Idealized 'wet clay,'" proc. 2nd European conf. Soil Mech., Weiboden, Vol. 1, 1963, pp. 47~54.
2. 李汶樹 "有限要素法에 의한 多次元壓密의 變形解析" 高麗大學校 博士學位論文, 1984.
3. 朴炳基, 李汶樹, 李鎮洙, 車福洙. "接合要素를 이용한 境界面 解析" 大韓土木學會 學術發表會 概要集(I), 1987, pp. 344~353.
4. 朴炳基, 康權修, 姜秉宣 "二次元模型 地盤의 變形解析(模型載荷裝置의 試作)" 大韓土木學會 學術發表會 概要集(I), 1987, pp. 354~361
5. 朴炳基, 鄭鎮變, 李汶樹, 姜秉宣, 梁炳貫 "Cap Model을 이용한 基礎地盤의 數值解析(I) (室內試驗에 의한 Cap Model의 Parameter 決定)" 大韓土質工學會誌 第3卷 第1號, 1987. 3. pp. 65~75
6. 朴炳基, 鄭鎮變, 李汶樹, 姜秉宣, 梁炳貫, 李鎮洙 "Cap Model을 이용한 基礎地盤의 數值解析(II) (汎用프로그램의 檢證과 數值計算例)" 大韓土質工學會誌 第3卷 第2號, 1987. 6, pp. 29~39.